

장기간의 작업으로 인한 손상 누적성 장애에 관한 연구

— Osram Sylvania, Inc. 의 사례 연구 —

Investigation of Cumulative Trauma Disorders in Manual Tasks

— Case Study at Osram Sylvania, Inc. —

장 성 록* · Andris Freivalds**

Seong-Rok Chang · Andris Freivalds

(1997년 7월 14일 접수, 1997년 12월 12일 채택)

ABSTRACT

The purpose of this paper is to present design recommendations intended to reduce the risk of cumulative trauma disorders(CTD) at the Osram Sylvania, Inc. The CTD risk index score is a method which quantifies the risk factors to CTD incidence, namely extreme postures, high force elements, frequent damaging hand motions, and other miscellaneous factors. The risk index score quantified the jobs as a single composite value by weighting the scores for each risk factor. Jobs were prioritized for capital outlays in workstation redesign, and the factors of highest risk within each job could be identified. Three jobs which presented the greatest risk of CTD incidence were redesigned ergonomically.

1. 서 론

현대사회의 과학기술 발전은 반세기 전만하여도 거의 상상할 수 없을 정도로 빠른 속도로 발전하고 있으며, 이에 맞추어 생산시스템도 자동화되어가고 있는 추세이다. 그러나 아직도 생산작업의 약 1/3 정도가 사람의 인력에 의해 수

행되고 있으며¹⁾, 이에 따라 많은 산업재해도 발생하고 있다. 우리나라의 1993년부터 1996년까지의 산업재해 현황을 보면, 재해율은 감소추세를 보이고 있지만 산업재해 보상금과 간접 손실액을 합한 총 경제적 손실액은 오히려 증가추세를 보이고 있다. 또한 그 액수도 1996년에는 6조 7천억원에 달해 천문학적 수치를 보이고 있

* 부경대학교 안전공학과

** Pennsylvania State Univ., Dept. of Industrial & Manufacturing Eng.

는 실정이다²⁾.

우리나라의 산업안전에 대한 관심은 주로 육안으로 관찰할 수 있는 외적인 손실-사람의 위상이나 경제적 손실-에만 초점을 맞추어 왔으며, 밖으로 잘 드러나지 않는 허리의 통증이나 손상 누적성 장애(Cumulative Trauma Disorders: 이하 CTD)와 같이 한번의 외적인 충격에 의해 일어나는 것이 아니라 반복적인 충격의 누적으로 일어나는 질병에 대한 연구는 최근에 이루어지기 시작한 단계이다. 이러한 CTD로 인한 산업재해가 1994년(미국)에는 제조업체의 산업재해의 35%를 차지하고 있으며, 지난 10년간의 통계를 볼때 계속적인 급격한 증가 추세를 보이고 있다³⁾. 따라서 산업화의 진전, 작업환경 및 노동의 질(quality)에 대한 관심이 높아지고 있는 사회적 추세이며, 자동화, 정보화, 작업 특성의 변화, human-computer interface의 증가, 근로자의 고령화 등 산업의 구조 변화에 따라 가까운 장래에 우리 나라에서도 CTD가 산업재해의 주요 문제로 부각될 것이므로 이러한 질병에 대해서 많은 관심을 기울여야 할 것이다.

위에서 언급한 손상 누적성 장애의 일종이라 할 수 있는 요통재해가 우리 나라 전체 산업재해의 약 15%를 차지하고 있는 것으로 조사되었으며⁴⁾, 우리 나라에서도 장기간의 누적성 장애로 나타나는 사무작업의 요통재해가 발생하고 있다. 또한 CTD는 1960년부터 국제노동기구(ILO)에서 산업재해로 인정받고 있는 중요한 산업재해의 하나이며, 우리 나라에서도 1996년에 산업재해로 인정한 사례가 있다. 요통재해의 주요원인이 되는 인력운반작업(Manual Material Handling: MMH)은 지난 수 십년간 인간공학의 주요 관심 분야였으며, 국제적으로는 물론 우리 나라에서도 인력운반작업의 지침 같은 많은 연구실적들이 발표되어 있다^{5,6,7)}. 그러나 요통재해에 비해 CTD에 대한 연구는 매우 부족한 상태에 있으며, 발병실태에 대한 현황 조사가 이루어지고 있는 상황이다.

과거 CTD에 대한 연구의 초창기에는 사례 보고가 주를 이루었으나, 최근 들어서는 Vern Putz-Anderson⁵⁾ 등에 의해서 저서가 나오고 Pennsylvania State University를 중심으로 C-

TD 발생 예측 기법에 대한 논문들이 발표되고 있다. 그러나, 우리 나라에서는 CTD에 대한 사례들을 접할 수 없는 상황으로 선진국의 연구사례와 결과들을 통하여 파악하여야 할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 Pennsylvania State University의 CTD Center에서 개발한 CTD 위험성 평가방법을 이용하여 Osram-Sylvania, Inc.의 작업 현장에 적용한 사례 연구를 수행하고, 작업 분석 및 checklist를 이용한 CTD 위험성에 대한 평가방법의 응용방안을 제시하고자 한다.

2. 연구의 배경

2.1 CTD 관련 요소

CTD의 발병에는 여러가지의 요소가 영향을 미칠 수 있는 것으로 알려져 있으며, Park et al.⁸⁾은 112개의 CTD에 영향을 미치는 속성들을 조사, 분석한 후 다음 Fig. 1과 같이 체계적으로 분류, 제시하고 있다. 이 분류에 의하면 CTD 발병에 영향을 미치는 요인으로는 크게 과도한 작업조건, 개인적 특성과 과도한 힘이나 압력(Torque)의 발휘 등 세 가지를 들고 있으며, 각 항목에 대한 세부 요인들을 제시하고 있다.

CTD 증상 중에서 가장 많이 연구되고 언급되고 있는 CTS(Carpal Tunnel Syndrome)를 발병시키는 요인도 매우 다양하여 만성적인 손상, 류마티스 관절염, 파렛병, 통풍, 임신, 당뇨병, 레노이드병 등의 질병, 여성의 임신과 폐경 등 호르몬의 변화 등도 관련되어 있으며, 손목을 반복적으로 사용하는 작업에 종사하는 경우에도 관련되어 있다⁹⁾.

2.2 CTD 위험성 평가 방안¹⁰⁾

CTD 위험성을 정량적으로 평가하기 위하여 CTD를 발생시키는 손 동작 빈도, 작용하는 힘, 자세, 기타 요인 등 네개의 위험요인에 근거하여^{11,12)} CTD 위험성 지수를 산출하는 Pennsylvania State University의 CTD 평가방법을 도입하였다. CTD 위험성 점수는 8시간 작업을 근

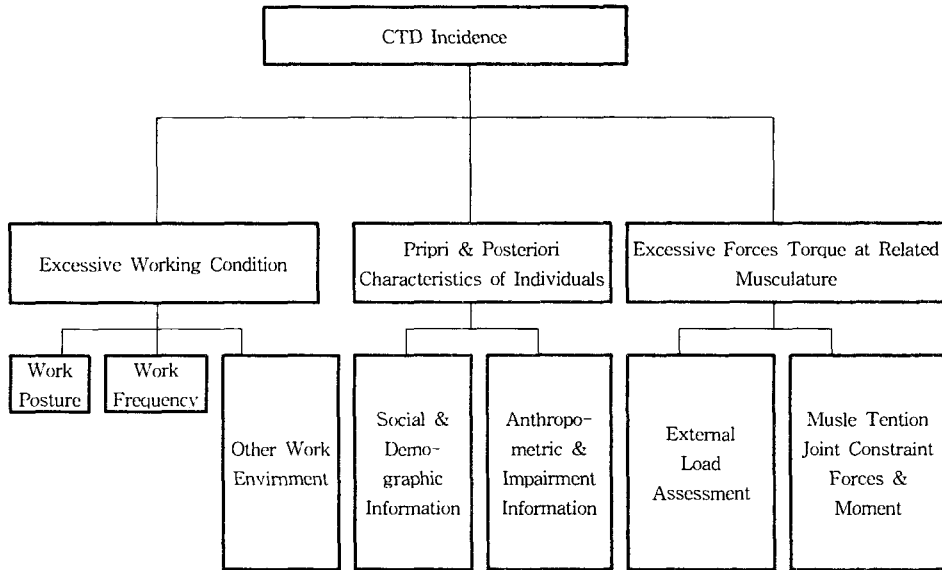


Fig. 1 Conceptual CTD Model

로자가 수행할 경우 특정 직무의 위험성 수준을 평가하는 정량적 척도로 개발하였다. 각 위험요인의 점수를 계산하고 이들 네 요인의 가중 평균을 CTD 위험성 점수로 산정한다. 이들의 산정방법은 다음과 같다.

① 손 동작 빈도 ①

손 동작 빈도는 하루 작업시간을 휴식시간 30분을 고려하여 27,612초로 가정하여 1일 작업동안 필요한 손 동작의 수를 추출하였다. 손 동작은 손목의 굴곡, 신전, 내전, 외전과 손가락으로 쥐는 동작 등으로 구분하여 작업 cycle당 손 동작의 횟수를 직접 측정하였다. 손 동작 빈도 점수는 하루작업시 작업허용 빈도인 10,000회 손 동작을 기준으로 다음과 같이 산출하였다.

$$\text{손동작빈도점수} = \frac{27612}{10000} \times \frac{\text{cycle당 손 동작}}{\text{cycletime}}$$

① 작용하는 힘 ①

작업 중 반복되는 동작시 개인의 최대근력(자의적인 노력에 의해서 근육이 등척적으로 낼 수 있는 힘의 최대치로 Dynamometer를 이용하여 측정)의 15~20%를 초과하는 경우 근로자는 신체적인 이상에 처하게 된다. 따라서 작용하는

힘의 기준은 최대근력의 17.5%를 기준으로 상대적인 점수를 산정하였다. 즉, 작용하는 힘에 대한 요인은 측정된 작업자의 최대 근력의 17.5%를 기준으로 표준화하여 점수화 하였다. 이는 작업시 필요로 하는 작용하는 힘 요인의 점수가 1이하 이어야 안전한 작업이 될 수 있다는 것을 의미한다.

① 작업 자세 ①

자세 요인에 대한 평가치는 인체 6부위의 관절에 대하여 중립위치(0°)에서의 변위를 각도로 측정하여 평균하여 구한다. 자세 요인은 전완 굴곡, 전완 신전, 어깨 굴곡, 어깨 외전, 등의 굴곡, 목의 굴곡 등 6개 동작으로 각 동작의 변위에 대한 평가치는 Table 1과 같다.

Table 1 Score based on the deviation from a neutral posture

Joint Angle	Posture Point
0°	0
> 0°, < 45°	1
> 45° < 90°	2
> 90°	3

자세 요인에 대한 평가치는 측정된 자세의

변위에 따른 각 동작별 점수를 가중 평균하여 추출하였다. 각 부위의 자세에 대한 가중치는 작업 cycle중 관절의 빈도에 대한 백분율을 이용하여 다음과 같이 산정하였다.

$$\text{자세 요인 점수} = \frac{1}{6} \sum (\text{관절별 점수 } i) \times (\% \text{ 작업 cycle})$$

즉, 다음과 같이 각 부위에 대한 가중치는 작업하기 위해서 취하는 자세에 소요되는 시간에 비례하며 각 동작별 점수는 특정한 자세에서의 작업 cycle의 백분율이 곱해지게 된다. 이는 작업중 모든 부하가 중립자세(변위 0°)일 때에는 자세요인의 평가치가 "0"이 되고 이를 최적으로 인정한다는 것이며 중립자세로 부터 변위가 커질수록 자세요인에 의한 평가치가 커진다는 것을 의미한다.

① 기타 요인 ①

기타 요인에는 작업장의 온도, 작업용 장갑 착용여부, 직무 순환, 교육, 도구의 손잡이 크기, 진동 노출 여부, 전체적인 안락도 등이 포함된다. 이들 각 요소의 평가 기준은 다음과 같다.

- 작업장의 온도가 10℃ 이하일 경우
 - 장갑을 착용했을 경우
 - 직무 순환이 되지 않거나 교육이 부족할 경우
 - 사용하는 도구 손잡이의 2 inch 보다 작거나 3 inch 보다 클 경우
 - 진동에 노출되거나 안락도가 나쁠 경우
- 위에서 제시한 경우에 해당되면 평가치가 "1", 이와 반대의 경우에는 "0" 으로 한다.

① CTD 위험성 지수 ①

4가지 위험성 요인 평가치의 가중 평균으로 CTD 위험성 지수를 산출하는데 각 요인의 가중치는 Pennsylvania State University의 CTD Center에서 사용하는 지수를 도입하여

- 손 동작 빈도 요인(0.3)
- 작용하는 힘 요인(0.3)
- 자세 요인(0.2)
- 기타 요인(0.2)

로 하였다. 따라서 이를 종합한 CTD 위험성 점수는 다음과 같이 산출하였다.

$$\text{CTD 위험성 점수} = (0.3 \times \text{손 동작 빈도}) + (0.3 \times \text{작용하는 힘}) + (0.2 \times \text{자세}) + (0.2 \times \text{기타})$$

CTD 위험성 지수의 절대적인 수치는 1.0 이 하이면 작업시 CTD의 위험성이 없는 것으로 평가할 수 있으며, 각 공정별로 CTD 위험성 지수를 산출하여 각 공정의 상대적인 비교에 더욱 유용하게 이용될 수 있다.

3. 연구결과 및 분석

3.1. CTD 위험성 평가

본 연구는 Osram-Sylvania, Inc.의 Cable 조립부문의 13개 작업에 대한 CTD 위험성을 평가하였다. 선정된 13개 작업은 OSHA No. 200 form (미국의 산업재해 조사표)과 산업의 의 치료 기록, 근로자 보상 기록 등에 근거하여 CTD의 발생가능성이 큰 작업이 선정되었으며, 각 작업에 대한 간단한 설명은 Table 2와 같다. 분석 절차는 선정된 13개 작업에 대한 작업분석으로 부터 시작되었다. 작업분석 방법은 각 공정에 대한 5 cycle time에 해당되는 시간 동안의 동작을 촬영하여, Software VISION 3000을 이용하여 각 지체의 움직임, 동작 반복 수, 변이 각도 등을 측정하고, 이를 CTD 평가 요인에 대한 정량화하여 종합 CTD 위험성 지수를 산출하였다. Soldering 작업의 CTD 평가 checklist 의 예는 Fig. 2와 같다.

Table 2 Job Description

Job Title	Description
Soldering	Stripped cables are pushed through a machined hole to brush back coaxial wires from the conductor. The ends are further trimmed manually and then placed in a holding device. Terminal ends are also placed in a holder which is put against the cable ends. The parts are soldered together and brushed. The insulating end caps are manually pressed on and crimped using a machined hole and forceful taping.
Grommet Crimping	The grommet is crimped at the center on a crimping device. The machine is activated with a two hand safety device.

Job Title	Description
Grommet Cuffing	The worker removes grommets from a bin(Table height) and puts a metallic cuff on one end. End product is placed in a second bin.
L-Crimping	Cable ends are feed manually to a crimper. One at a time with L-shaped ending. Cable is yanked into place and the machineis activated with a two hand safety device.
Taping	The worker uses foam tape to fix tree connectors to the cable.
Heat Shrinking	Cables with grommets and heat Shrink wraps are place on the heater.
Cable Stripping	Precut cables are stripped off their ends. Stripping is done by a table top cutting device with numerically controlled start and end lengths. The worker the inspects the stripped end and trims and removes non-conformities with hands and pliers. Different strategies were employed. The highest wrist deviation examples were used.
Grommet Centering	Grommet are placed in the center of the cavle using a threading approach. Then heat shrink tape in also threaded on the cable.
Inspection/ Continuity	Cable ends are placed in a closed loop brace. After the device is closed a current check is done. The lid is lifted and the cable is removed.
Crimping 1	Cable ends ar fed manually to a crimper one at a time. The worker holds crimped cables in hand while manipulating other cables.
Inspection/ Manual Tolerance	Cables are counted and the end connectors are tolerance tested with a machined standard.
Crimping 2	Cable ends ar fed manually to a crimper two at a time. The crimped pieces are I'shaped and are manually placed into the crimper. Machine activation requires two hands to ensure safetv.
Plug-End Connectors	Two prong end connectors are manually pressed on to the cable assembly.

선정된 13개 작업의 CTD 위험성 지수를 요약하면 Table 3과 같다. Table 3에서 보는 바와

같이 Soldering, Taping, Grommet Cutting 의 순서로 CTD 발병 가능성이 큰 작업인 것으로 나타났으며, 과거 CTD 발병 기록이 있는 13개 작업의 CTD 위험성 지수는 1보다 큰 것으로 나타났다. Osram-Sylvania, Inc. 사의 사례 연구를 통하여 CTD 위험성 지수가 1보다 큰 작업의 경우 인간공학적으로 개선해야 할 필요성이 있는 것으로 평가하는 방법으로 활용할 수 있을 것이다.

Table 3 Summary of CTD Risk Index

Job Title	Job description	Grand Score
Soldering	Solder contacts and casing to cable	3.026
Taping	Tap is used to fix tree connectors to cable	2.999
Grommet Cuffing	Push matallic cff onto grommets for crimping	2.946
Heat Shrink	Place cable in clamp for heat shrinking	2.804
Cable Stripping	Strip insulation from coaxial cable and trim	2.603
L-Crimping	Crimp L-shaped end connector	2.562
Manual/ Visual Inspection	Cable count and tolerance guaging	2.425
Grommet Crimping	Crimp the grommet cuff to fix to center	2.410
Grommet Centering	Slide grommet to center	2.074
Continuity Testing	Test for current flow	2.037
Crimping 2	Both end crimping	1.985
Plug-In End Connectors	Press plastic end connector on wire	1.769
Crimping 1	Single end crimping	1.764

3.2. CTD 위험성 감소를 위한 개선 사례

Osram Sylvania, Inc. ACS area의 13개 작업에 대한 CTD 위험성 평가 결과, 위험도 지수에 의한 위험성의 크기를 분석하였으며, 향후 현 상태로 작업을 계속할 경우 분석된 13개 작업은 CTD 발병 가능성이 존재하고 있는 것으로 나

Job Title Soldering	Working hours 7.5
Job Description Solder contacts and casing to cable	Cycle Time : Secs. 60
Machine <input type="text"/>	Estimated Number of Cycles 450.00
Frequency Factor 2.475	Posture Factor 2.533

Record number of damaging postures during one cycle in the corresponding box, else leave blank

	Left	Right
R U Deviation	<input type="text"/>	<input type="text"/>
D V Deviation	4	12
Arm Rotation	5	10
Medial Grasp	4	4
1 Point Pinch	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2 Point Pinch	18	24
Lateral Pinch	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Palm Pinch	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Finger Press	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Total	31	55

Record Time, in seconds, that posture is maintained during one cycle in corresponding box, else leave blank

	Left	Right
Shoulder Flex.(Ext.) 1 point	2	2
2 point	20	<input type="text"/>
3 point	<input type="text"/>	20
Elbow Flexion.(Ext.) 1 point	10	20
Should.Abd. 1 point	10	20
2 point	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3 point	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Back Flexion.(Ext.) 1 point	20.000	<input type="text"/>
2 point	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3 point	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Neck Flexion.(Ext.) 1 point	30.000	<input type="text"/>
2 point	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Total	112	152

Force Factor 5.667	Miscellaneous Fctor 0.385
---------------------------	----------------------------------

A Pinch/Grip is Static if it is hold for 30 seconds or longer

Case P Pinch/grip	P	.85
	Static (Y/N)	N
	R of P	18.178
	Case P : R	5.667
	Repetitive	Y
Force Factor P	5.667	

When condition is true place a 1 in corresponding box. else leave blank

Work Temp < 10° C	<input type="text"/>
Gloves (worn) ?	<input type="text"/>
Job Rotation (no)	1
Training (no)	<input type="text"/>
Tool Handle Size (< 2" or > 3")	<input type="text"/>
Vibration (Yes)	<input type="text"/>
Overall Comfortability (poor)	<input type="text"/>

Grand Score 3.026

Fig. 2 Example of CTD assessment checklist

타났다. 따라서 이들 작업에 대한 개선이 이루어져야 한다.

개선의 기본적인 원칙은 다음과 같다.

- 과도한 관절의 움직임 제거
- 과도하게 작용되는 힘의 축소
- 반복적인 동작의 빈도 완화

본 연구에서는 평가 결과, 특히 CTD 위험성

이 큰 soldering, taping, grommet cuffing 등 3 가지 작업에 대하여 작업장(작업면의 재배치, 높이, 각도 등), 사용하는 도구(특히 손잡이 부분), 작업방법 측면에서 인간공학적 개선안을 사례로 제시하였다.

● Soldering ●

가장 사용빈도가 높은 soldering 지그를 최적 작업역에 배치하고, 작업자가 몸통을 돌리지 않고도 사용할 수 있도록 180° 회전이 가능한 형태로 개선하였다. Soldering 작업시 사용하는 bushing pusher와 cutter의 사용이 용이하도록 정상작업역 내에 배치하고, 선 투입시 이들을 지지하는데 소요되는 근력을 감소시키기 위하여 작업면에 고정시켰다.

● Taping ●

이 작업에서는 손목의 굴곡과 신전의 변이가 과도한 것으로 관측되어 이를 제거하기 위하여 hot fusing 방법을 이용하여 두 선의 결합이 자동적으로 이루어지도록 공정을 개선하였다. 이때 작업자는 선의 투입만 지지하는 것으로 작업에 아무런 지출 수 있다.

● Grommet cuffing ●

작업대가 과도하게 높고 상체를 비틀어서 작업이 이루어 지는기 때문에 척추에 과도한 부하 염력이 발생하고, 정상작업역을 벗어난 작업이 이루어지므로, 작업대 위의 지그의 위치와 작업면의 높이를 작업자의 체형에 맞게 조정할 수 있도록 재설계하여 작업이 최적 작업역에서 이루어지도록 하였다. 또한, 팔꿈치 지지대를 부착하여 작업대 모서리에서의 조직 눌림을 제거하여 원활한 혈액 순환이 되도록 하였다.

4. 결론 및 토의

본 연구는 Pennsylvania state university의 CTD center에서 개발하여 사용하고 있는 CTD 위험성 평가 방법을 이용하여, Osram Sylvania, Inc. ACS area의 작업 중 과거 CTD가 발생했던 작업에 대하여 CTD 위험성을 정량적으로 평가하고, CTD 발생 가능성을 줄이기 위하여 작업장, 작업 방법, 사용하는 도구 및 지그를 인간공학적으로 개선하였다. 특히, 위험성이 높은 작업시 불필요한 근력의 사용을 줄이고, 작업자에게 의해 수반되는 과도한 관절의 변이나 신체의 움직임을 막을 수 있도록 하였다. 개선 결과 CTD 위험성 지수가 모두 1 이하로 떨어져 CTD

발생 가능성을 대폭 줄일 수 있었다.

본 연구를 통하여 이러한 기법을 국내에서도 적용할 수 있는 형태로 연구 발전시켜서, 산업화의 진전, 작업환경 및 노동의 질(quality)에 대한 관심이 높아지고 있는 사회적 추세와, 자동화, 정보화, 작업 특성의 변화, human-computer interface의 증가, 근로자의 고령화 등 산업 구조의 변화에 따른 장기간의 작업으로 인해 발생할 수 있는 CTD가 산업재해의 주요 문제로 부각되는 것을 미연에 방지할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) 김상호, 정민근 “반복적인 들어올리기 작업에서 작업자세와 시간이 근력 변화에 미치는 영향”, 추계산업공학회논문집, pp.450~457. 1994.
- 2) 노동부, “96년 산업재해 통계”, 1997.
- 3) National Safety Council, “Accident Facts”, 1995.
- 4) 기도형, 정민근, “산업재해 보상에서의 요통 재해 조사 및 분석”, '94 추계 산업공학회 논문집, pp. 443~449, 1994.
- 5) Marras, W.S. and Mirka, G.A., “Trunk Strength during Symmetric trunk motion”, Human Factors, Vol. 31, pp. 667~677, 1981.
- 6) Putz-Anderson, V., “Cumulative Trauma Disorders”, Taylor & Francis, London, 1992.
- 7) Waters, T.R., Putz-Anderson, V, Garg, A. and Fine L.J., “Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks”, Ergonomics, Vol. 36. pp. 749~776, 1993.
- 8) Park, D. and Freivalds, A., “A risk assessment model of hand cumulative trauma disorders”, 3rd Pan-Pacific conference of Occupational Ergonomics, pp. 302~306, 1994.
- 9) 이은일, 이원진, 정민근, “모 인건사 제조업체 근로자의 CTS 유병율에 관한 연구”, 춘

- 계 인간공학회, pp. 100~109, 1993.
- 10) Freivalds, A., "Worksite Risk Analysis and Recommendations for Risk Reduction & Job Improvement in ACS Area", Center for Cumulative Trauma Disorders, Penn. State. Univ. 1996.
 - 11) Silverstein, B.A., Fine, L.J. and Armstrong T.J., "Hand wrist cumulative trauma disorders in industry", Br. J. of Ind. Med. Vol. 43, pp. 779~784, 1986.
 - 12) Feldman, R.G., Goldman, R. and Keyserling, W.M., "Peripheral nerve entrapment syndromes and ergonomic factors", Am. J. Ind. Med. Vol. 4. pp. 661~681, 1983.